УДК 629.782.05:629.783

# ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЯ МОМЕНТОВ ГИРОДИНОВ

А.Н. Гормаков, А.П. Михеев*

Томский политехнический университет
*НПЦ «Полюс». г. Томск
E-mail: dtps@lcg.tpu.ru

*Представлены результаты анализа возможности создания измерителя «возмущающих» моментов на посадочных местах исполнительных органов систем ориентации космических аппаратов. Приведено описание конструкции измерителя и его основные технические характеристики.*

## Введение

Управление ориентацией орбитальных станций и искусственных спутников Земли разного назначения осуществляется преимущественно с помощью активных систем ориентации, исполнительными органами которых являются управляемые по скорости двигатели-маховики (УДМ), гиродины и двигатели-маховики в одноосном подвесе. Благодаря простоте конструкции и сравнительно невысокой стоимости наиболее широкое применение из перечисленных исполнительных органов нашли УДМ. Основными источниками возмущающих (нежелательных) моментов УДМ являются дисбаланс и упругие деформации ротора, а также погрешности изготовления подшипников ротора. Эти возмущающие моменты, особенно знакопеременные, изменяющиеся с частотой, близкой к собственной частоте космического аппарата (КА), могут вызвать резонанс, в результате чего снижается качество выполняемых КА задач. Поэтому на этапе разработки и в процессе контрольных испытаний необходимо контролировать возмущающие моменты УДМ на стенде – измерителе моментов [1–5].

## Принципиальная схема измерителя моментов

Для упрощения конструкции электромеханического модуля (ЭММ) измерителя моментов (ИМ), повышения стабильности механических характеристик его элементов принято решение о создании измерителя на базе одноосного подвеса. Измерение моментов, действующих вокруг трех осей УДМ, осуществляется путем последовательного совмещения каждой из осей с измерительной осью ЭММ, измерением момента вокруг этой оси, переустановкой гиродина на платформе с целью совмещения другой оси с измерительной осью ЭММ и т.д.

В данном измерителе моментов применен компенсационный принцип измерения. Стенд – измеритель моментов (рис. 1) состоит из платформы – 1, на которую устанавливается и закрепляется исследуемый исполнительный орган – 2. Платформа установлена в упругих опорах – 3 на основании – 4 и имеет возможность поворота вокруг оси АА подвеса. Угол поворота платформы измеряется посредством датчика угла – 5. Сигнал с датчика угла – 5, пропорциональный углу поворота платформы, поступает на усилительно-преобразующее устройство – 6 и далее на моментный двигатель – 7. Ток, протекающий по обмотке моментного двигателя, контролируется преобразователем ток – напряжение – 8. Измеряя этот ток, можно судить о моменте, создаваемом исследуемым исполнительным органом. Диапазон частот измеряемых знакопеременных моментов ограничен ед. Гц, что обусловлено инерционностью элементов системы силовой компенсации момента.

В состав ИМ входит управляющий компьютер – 10, источники питания – 12, цифро-аналоговый и аналого-цифровой преобразователи – 9, регистрирующие устройства – 11.

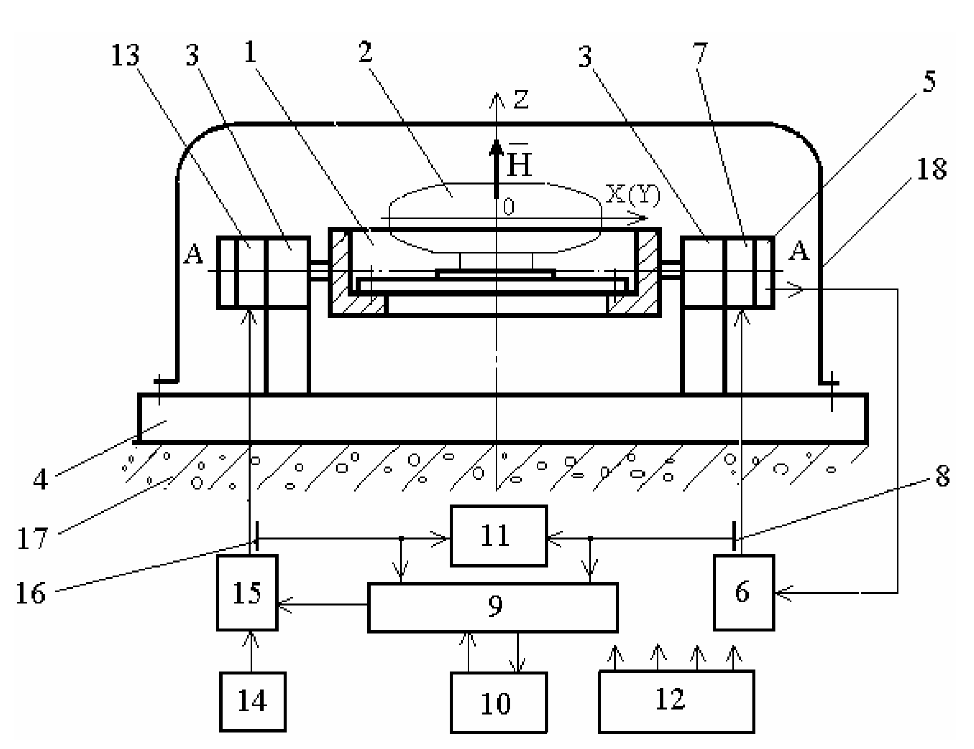



*Рис. 1. Принципиальная схема измерителя моментов*

В измеритель момента дополнительно введен канал калибровки, предназначенный для:

- ускоренной калибровки ИМ после смены исследуемого исполнительного органа. Необходимость данной калибровки обусловлена изменением остаточной жесткости упругих опор, которое возникает при смене (переориентации) исполнительного органа, при изменении температуры окружающей среды;
- проверки работоспособности ИМ;
- устранения остаточного дисбаланса платформы стенда;
- снятия динамических характеристик ИМ в области низких частот.

Канал калибровки ИМ состоит из моментного двигателя – 13 (рис. 1), установленного по оси подвеса платформы стенда, генератора эталонных сигналов – 14, усилителя – 15, преобразователя ток – напряжение – 16. При подаче эталонного сигнала через усилитель на двигатель, последний прикладывает по оси подвеса платформы эталонный момент, контроль за которым осуществляется посредством преобразователя ток – напряжение – 16. Для исключения влияния на результаты измерений индустриальных и природных колебаний почвы ИМ необходимо установить на виброизолированный фундамент – 17. Шатер – 18 предназначен для защиты высокочувствительной системы измерения от порывов ветра и сквозняков в помещении испытательной лаборатории.

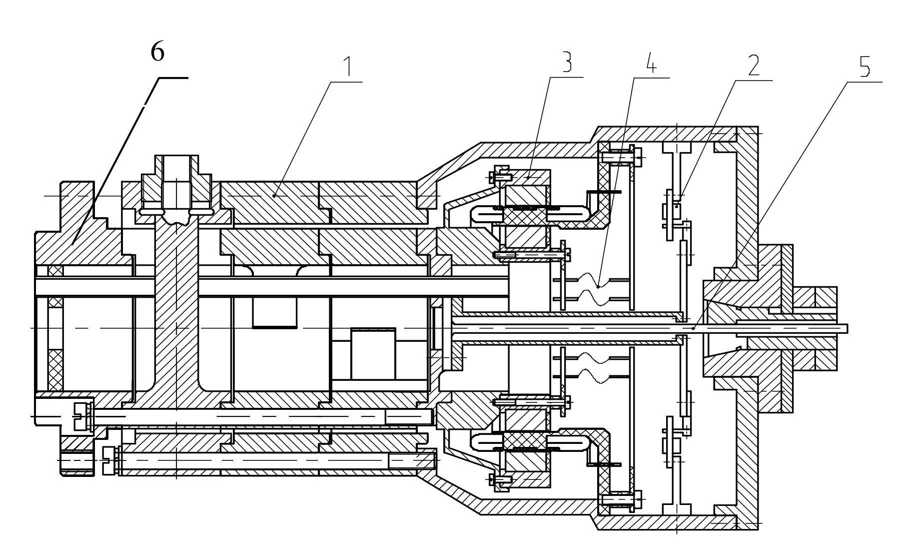



*Рис. 2. Измерительный узел электромеханического модуля ИМ*

**Конструкция электромеханического модуля**

Основным конструктивным элементом ЭММ ИМ, обеспечивающим высокую чувствительность и точность измерений моментов, является измерительный узел (ИУ) (рис. 2).

Базовым элементом измерительного узла является упругая опора – 1 [6]. В ИУ вмонтированы: бесконтактный моментный двигатель постоянного тока магнитоэлектрического типа – 3, бесконтактный датчик угла поворота – 2, узел упругих токоподводов – 4, регулируемый по длине торсион – 5 и втулка – 6, для соединения ИУ с платформой. В пределах малого угла, до 1°, опора ИУ может быть настроена на квазинулевую крутильную жесткость, что обеспечивает высокую чувствительность измерителей моментов гиродинов, построенных на базе ИУ. Жесткость опоры ИУ в радиальном направлении составляет $9{,}3 \cdot 10^7$, а в осевом – $3 \cdot 10^6$ Н/м.

Опыт создания и эксплуатации СИМ-2 [7] и других устройств, в которых были применены подобные опоры, показал, что для исключения конструкционного гистерезиса, который, в основном обусловлен зазорами и трением в узлах заделки упругих элементов в кольцах опоры, необходимо выполнять конструкцию упругого элемента из монолитной заготовки, без применения сборочных операций. Это решение реализовано в упругом элементе опоры [6]. Упругий элемент содержит два коаксиальных кольца – внутреннее – 1 и наружное – 2, связанные между собой упругой лентой – 3 (рис. 3). Опора – 1 (рис. 2) собрана из жестко связанных между собой двух элементов (рис. 3) и одного элемента (рис. 4) с узлом – 4 нагружения ленты так, чтобы оси упругих лент каждого элемента были смещены друг относительно друга на 120°, если смотреть по оси опоры. Настройка опоры на квазинулевую жесткость осуществляется путем подбора усилия нагружения лент. Устройство нагружения позволяет либо растягивать ленту, либо сжимать ее.

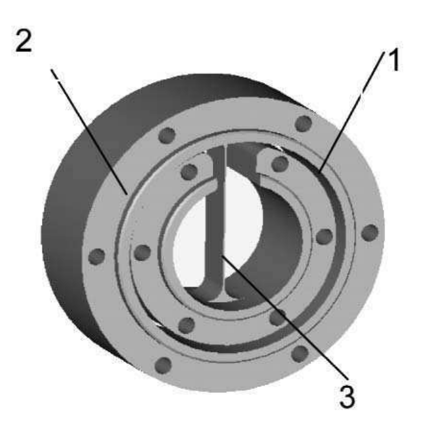



***Рис. 3.*** *Упругий элемент опоры*

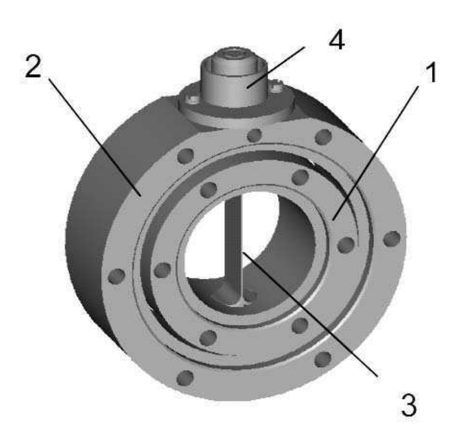



***Рис. 4.*** *Упругий элемент опоры с узлом нагужения ленты*

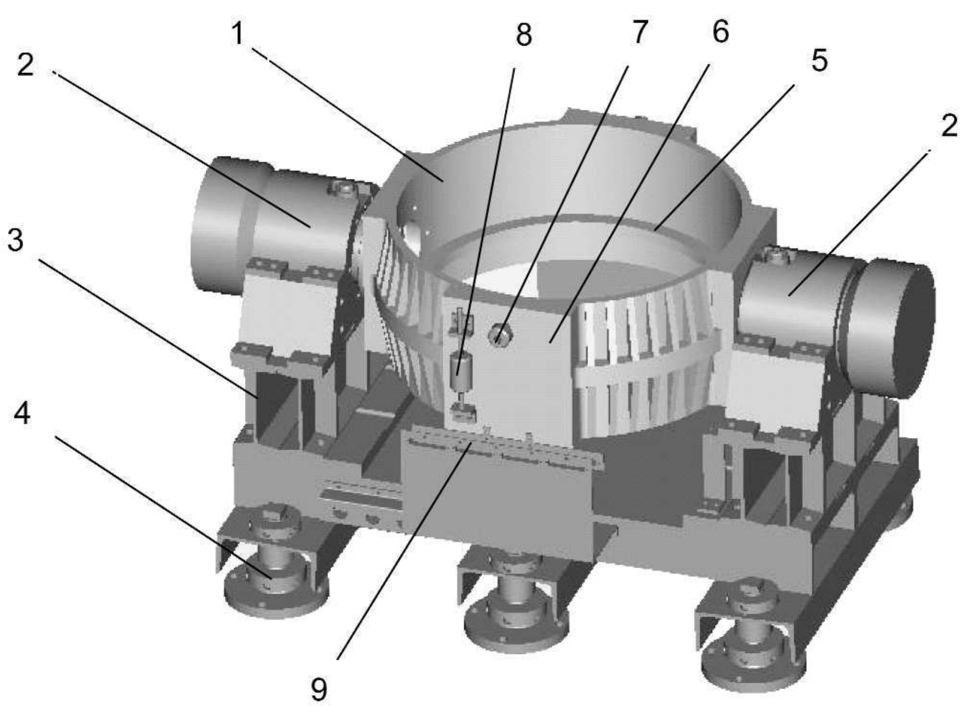



***Рис. 5.*** *Общий вид электромеханического модуля измерителя моментов*

При разработке конструкции электромеханического модуля (ЭММ) измерителя моментов гиродинов (рис. 5) наряду с удовлетворением технических требований по чувствительности, точности, массогабаритным характеристикам, надежности, учитывались требования производственной и эксплуатационной технологичности. Платформа – 1 ЭММ установлена в двух измерительных узлах – 2, закрепленных на стойках основания – 3. Основание установлено на шести регулируемых опорах – 4.

Платформа выполнена в виде кольца с ребрами жесткости, изготовленного литьем из алюминиевого сплава. Для крепления испытуемого изделия на платформе имеется установочные площадки на кольцевом пояске – 3. На платформе предусмотрены поверхности – 6 для крепления балансировочных грузов – 7, 8 и электрических разъемов (не показаны). Для подвода питающих напряжений к гиродину и передачи сигналов с его датчиков на блок управления применены гибкие токоподводы – 9 на 80 электрических линий.

### Основные технические характеристики ЭММ измерителя моментов

Параметры платформы:

- масса – 20,7 кг;
- момент инерции относительно оси подвеса – 0,63 кг·м$^2$;
- собственная частота крутильных колебаний вокруг оси подвеса – 420 Гц;
- массо-габаритные параметры испытуемых изделий – диаметр до 400 мм и масса до 15 кг.

Крутильная жесткость подвеса платформы – 0,4 Н·м/рад. Суммарная крутильная жесткость подвеса платформы при работающей системе силовой компенсации – (1...2)·10$^3$ Н·м/рад. Собственная частота крутильных колебаний платформы с работающей системой силовой компенсации – 7...9 Гц.

На данном измерителе могут быть определены «возмущающие» постоянные и знакопеременные моменты гиродинов на их посадочных местах, изменяющиеся с частотой до 7 Гц в диапазоне от 0,3·10$^{-4}$ до 0,2 Н·м. Погрешность измерения постоянных моментов во всем диапазоне не превышает 1 %.

Габариты ЭММ не более 1100×700×700 мм. Общая масса электромеханического модуля может быть в пределах 150...300 кг в зависимости от применяемых материалов. Применение одноосного подвеса позволяет получить простую, малогабаритную, жесткую конструкцию, удобную в эксплуатации, обслуживании и ремонте.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. Гормаков А.Н., Камашев Ю.М., Скорых В.Я. Динамика стенда для измерения динамических характеристик гиродина // Электронные и электромеханические системы: Сб. трудов XVI научно-техн. конф. НПЦ "Полюс". Томск: МГП «РАСКО», 2001. – С. 367–372.
2. Skorykh V.J., Gormakov A.N., Plotnikov J.A. Torquemeter on sites of girodines // The 5th Korea-Russia Intern. Symp. on science and technology (KORUS-2001). Russia, June 26–July 3. 2001. – Tomsk, TPU, 2001. – V. 1. – P. 42–45.
3. Гормаков А.Н., Плотников И.А., Скорых В.Я. Метрологическое обеспечение исполнительных органов систем ориентации космических аппаратов // САКС – 2002: Тез. докл. II Междунар. научно-практ. конф., 6–7 дек. 2002. – Красноярск: Сиб. ГАУ, 2002. – С. 70–72.
4. Гормаков А.Н., Плотников И.А., Скорых В.Я. Метрологическое обеспечение систем ориентации космических аппаратов // Современные проблемы машиностроения и приборостроения: Сб. трудов I Междунар. конф. – г. Томск, 24–28 сентября 2002. – Томск: ТПУ, 2003. – С. 80–81.
5. Ковалев Е.А., Дернов С.А. Технология испытаний систем ориентации и стабилизации космических аппаратов // САКС – 2004: Тез. докл. III Междунар. научно-практ. конф., 4 дек. 2004. – Красноярск: Сиб. ГАУ, 2004. – С. 97–99.
6. Пат. 2011057 РФ. МКИ$^5$ F16F 3/10. Опора для прецизионных приборов / А.Н. Гормаков, Ю.М. Камашев, В.И. Ветренко. Опубл. 1994, Бюл. № 7.
7. Стенд для измерения моментов вокруг двух осей СИМ-2 / Камашев Ю.М.; Томск. политехн. ин-т. – Томск, 1983. – Деп. в ВИНИТИ, № 02840007147. Маршр. карта 307.